



Sikkerheden i eksisterende byggeri

Betonstyrken i højhuse fra 1950'erne

Nielsen, Jørgen; Munch-Andersen, Jørgen

Publication date:
2007

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Nielsen, J., & Munch-Andersen, J. (2007). *Sikkerheden i eksisterende byggeri: Betonstyrken i højhuse fra 1950'erne*. SBI forlag.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Sikkerheden i eksisterende byggeri - betonstyrken i højhuse fra 1950'erne

Jørgen Nielsen og Jørgen Munch-Andersen, SBI, 2007-01-21

Afdelingen for Byggeteknik og
Design
Jørgen Nielsen
Jørgen Munch-Andersen

Indledning

Dette notat behandler spørgsmål i forbindelse med vurderingen af sikkerheden af eksisterende bygninger i Danmark; herunder såvel generelle spørgsmål af principiel karakter som specifikke spørgsmål om sikkerheden ved højhuse af beton fra 1950'erne.

Spørgsmål om sikkerheden af højhuse af beton fra 1950'erne er aktualiseret af nedrivningsplaner og evakuering af beboerne fra højhusene Ruskær 37 og Agerkær 7 i Rødovre i januar 2007.

21. jan. 2007
Journal nr. 721-072

Sikkerheden i eksisterende byggeri

Baggrund

Der viser sig jævnligt eksempler på, at eksisterende bygninger ikke har den styrke, som var forudsat, da bygningerne blev opført. Eksempelvis kan der peges på de mange stormskader, som SBI undersøgte efter stormen i december 1999 (Munch-Andersen & Buhelt, 2000). Her viste det sig, at årsagerne især var utilstrækkeligt fastgjorte tagdækninger, tagkonstruktioner og gavltrekanter, men også korroderede murbindere gav en del skader.

Der er også enkelte eksempler på, at sikkerheden kan være så lille, at nedstyrtninger kan opstå tilsyneladende uprovokeret, som det er set ved Siemens Arena og ved en skalmur på Amager.

Sådanne hændelser har medvirket til overvejelser af om sikkerheden i det eksisterende byggeri er tilstrækkelig, eller om der burde være en eller anden form for systematisk overvågning (Nielsen, 2005).

Regler og principielle betragtninger

Reglerne er klare. Det er ejerens pligt at sørge for, at bygningen til enhver tid opfylder kravene til sikkerheden. For ældre ikke-renoverede konstruktioner vil det sige de krav, der var gældende da bygningen blev opført. Dette er i overensstemmelse med, at der sædvanligvis ikke indføres nye regler med tilbagevirkende kraft. Der er dog eksempler på, at der på et senere tidspunkt eksplicit er krævet en øget sikkerhed. For renoverede bygninger kan det være krav, som myndighederne har forlangt opfyldt i forbindelse med gennemførelse af renoveringssagen.

Selv om kravene til kontrol af materialer og udførelse er øget i tidens løb, har der ikke været grundlag for en generel mistillid til ældre bygningers sikkerhed. Det skyldes bl.a. at sikkerhedsniveauet i dansk byggeri generelt er – og har været – så højt, at de små fejl, der uundgåeligt er sluppet igennem projektering, myndighedsbehandling og udførelseskontroller, ikke har udgjort et væsentligt problem.

Den generelle erfaring er således, at konstruktioner, der opfylder de krav, der var gældende da de blev opført, er sikre nok.

Når der opstår problemer, er det ofte som følge af naturlig ældning af materialer på steder, hvor det er kritisk for en bygnings sikkerhedsmæssige integritet, og som ikke er tilgængelige i forbindelse med sædvanlige drifts- og

vedligeholdelsesprocedurer. Det kan også være som følge af fejl eller manglende viden om en nedbrydningsmekanisme, hvad enten det er under projektering eller under udførelse. Dette ses især i forbindelse med udnyttelsen af nye konstruktionsformer, som senere viser sig at indeholde uforudsete svagheder eller svigtmekanismer. Her viser svaghederne sig måske først, når der opstår skader som følge af nedbrydning og/eller i forbindelse med ekstreme påvirkninger som kraftig vind- eller snepåvirkning.

Derfor drejer spørgsmålet om sikkerhed i eksisterende bygninger sig især om at identificere bygningstyper, hvor en kritisk fejl kunne være begået, eller hvor nedbrydningen af kritiske konstruktionsdele har fundet sted, eksempelvis galvaniserede stålbindere i hule mure (Feilberg Hansen & Egholm, 2005).

Som en naturlig konsekvens heraf har SBI foreslået en central registrering af bygninger, der har vist sig at stå med en ringere sikkerhed end forventet (Nielsen, 2005); d.v.s. hvor et konstruktionssvigt har fundet sted, eller hvor det har været nær ved at indtræde. Denne viden kunne udnyttes i forbindelse med traditionelle rutinemæssige eftersyn eller – i mere alvorlige tilfælde – som grundlag for kampanjer eller påbud til bygningsejere.

I (Nielsen, 2005) peges endvidere på, at en sådan viden kunne lægges til grund for en ordning om tidsbegrænset godkendelse af anvendelsen af bygninger. En godkendelse kunne gælde for fx 40 år med forlængelser i perioder på 20 år, forudsat at det blev dokumenteret at kendte svagheder ved den pågældende bygningstype var kontrolleret/udbedret. I 1940-erne og 1950-erne eksisterede der en sådan ordning om tidsbegrænsede tilladelser til anvendelse af huse med særlig byggemåde.

Fordelene ved en sådan ordning må naturligvis afvejes med omkostningerne ved at drive ordningen.

Som det fremgår af ovenstående er det uoverkommeligt og unødvendigt, at drage enhver detalje i ethvert byggeri i tvivl.

Fra tid til anden observeres dog svagheder, som bør give anledning til at overveje om de pågældende svagheder er generelle, og om der er behov for at imødegå dem i tide.

Sådanne sager er meget forskellige, og det vil være nødvendigt fra sag til sag at overveje, hvilke skridt der bør tages.

Betonstyrken i højhuse fra 1950'erne

Hvilket sikkerhedsforhold betragtes

Allerede da grundlaget for evakueringsplanerne for to højhuse i Rødovre blev fremlagt kunne spørgsmålet have været rejst om hvorvidt de anførte problemer kunne være relevante for andre højhuse af beton fra 1950'erne. Det væsentlige element i grundlaget var en alt for lav betonstyrke, baseret på en prøvning af udborede cylindre, hvilket kunne have været et problem i tiden og derfor relevant andre steder.

Jævnfør bemærkningerne ovenfor er der ikke tradition for at følge op på den måde. Nu blev det i stedet effektueringen af evakueringen, der forårsagede, at de landsdækkende perspektiver blev inddraget.

En nærmere analyse af grundlaget for evakueringen, (Munch-Andersen og Nielsen, 2007a) og (Munch-Andersen og Nielsen, 2007b) viste imidlertid at evakueringsgrundlaget ikke giver anledning til at rejse tvivl om styrken af betonen i hovedkonstruktionen i højhusene i Rødovre. Dermed er der heller ikke længere nogen anledning til at se på landsdækkende perspektiver.

I de to første uger af januar 2007 arbejdede SBI imidlertid ud fra en hypotese om at højhuse i Rødovre var en sådan sag, og at der var behov for at sikre sig, at tilsvarende problemer ikke fandtes i bygninger andre steder.

Som nævnt ovenfor opstår der imidlertid fra tid til anden behov for at se på landsdækkende perspektiver med baggrund i en eller nogle få hændelser. Overvejelserne i denne sag kan derfor stadig have interesse som case selv om de aldrig mandede ud i et endeligt resultat af de grunde, der er nævnt ovenfor. Disse overvejelser vedrører spørgsmålene om hvilke bygninger, der skulle have været inddraget og hvilken dokumentation, der i givet fald skulle fremskaffes.

I det følgende forudsættes således, at fundet af en uacceptabel lav betonstyrke i højhusene i Rødovre var blevet bekræftet.

Hvilke bygninger drejer det sig om

Med højhusene i Rødovre som anledning afgrænses undersøgelsen til sikkerhedsaspekter knyttet til betonstyrken i forbindelse med hovedkonstruktionens optagelse af lasttilfælde med vind (Munch-Andersen og Nielsen, 2007a).

Tidsmæssigt betragtes bygninger opført i perioden fra 1950 til 1960 ud fra en antagelse om, at eventuelle problemer med betonkvaliteten har været størst i overgangen fra traditionelt muret byggeri til industrialiseret betonbyggeri.

Størrelsesmæssigt betragtes bygninger på 8 etager og derover ud fra især følgende to overvejelser: I lavt byggeri udnyttes betonstyrken sjældent fuldt ud, ligesom vindlastens betydning for trykbelastningen i læsiden er beskeden. Reglerne for muret byggeri gælder kun til og med 7 etager. Derfor vil bygninger på 8 etager og derover i praksis være udført med en bærende konstruktion i beton, således at en søgning i BBR - registret efter bygninger i 8 eller flere etager kan forventes kun at omfatte betonbygninger.

De etageboliger, der på dette grundlag betragtes, vil typisk være udført med bærende tværvægge samt afstivende langsgående indre vægge, ofte støbt på stedet. Betonen i de primære bærende konstruktioner er således normalt ikke udsat for vejrliget. Det antages derfor, at betonens styrke ikke er faldet i bygningernes levetid. I de nederste etager vil der normalt være benyttet armeret beton, medens der er benyttet uarmeret beton i de øvre etager når væggene støbes på stedet.

Ændrede regler

Ved bedømmelsen af bygningernes styrke i forhold til dagens krav, er der især to forhold at tage i betragtning (Munch-Andersen og Nielsen, 2007a). Det ene vedrører udviklingen i det i normerne foreskrevne forhold mellem virkelige belastninger (især vindlast) og virkelig styrke (her betonens), herunder den måde der benyttes til fordeling af sikkerheden mellem lastsiden og styrkesiden. Det andet forhold vedrører krav til kvalitetssikring af den benyttede beton.

På opførelsestidspunktet var de relevante gældende normer DS 410 (last) fra 1945 og DS 411 (beton) fra 1949, der opererede med normal kontrol og skærpet kontrol som grundlag for produktion og udstøbning af beton. Betonproduktionen fandt ofte sted på byggepladsen. Ved skærpet kontrol foreskrev DS 411, at det skulle være kvalificeret tilsyn, og at råmaterialer skulle kontrolleres med regelmæssige mellemrum. Desuden skulle betonstyrken kontrolleres ved prøvning såvel ved start som for hver 150 m³ beton, der blev produceret. Selv ved normal kontrol skulle der fortages prøvning. Dette

normsæt var endvidere baseret på tilladelige spændinger udregnet som en brøkdel af middelstyrken.

I dag produceres beton til tilsvarende anvendelser på fabrik, og den styrke, der indgår i beregningerne, afhænger ud over middelværdien af variationskoefficienten på målte styrker.

Det må antages, at styrkerne af den beton, der blev fremstillet i 1950'erne, har haft en noget større variationskoefficient end styrkerne af den beton, der benyttes i dag, og som er ca. 15%. I (Munch-Andersen og Nielsen, 2007a) er det vist, at variationskoefficienten for styrkerne i datidens beton kan være op til 25% uden at sikkerheden af bygninger regnet helt efter det gamle normsæt bliver ringere end sikkerheden regnet efter det regelsæt, der gælder i dag. Det gælder for armerede vægge. For uarmerede vægge er der plads til en endnu større variationskoefficient.

På det grundlag konkluderes, at der ikke er grund til at drage sikkerheden i tvivl for så vidt angår betonstyrken, hvis de regler, der var gældende på daværende tidspunkt, blev overholdt. Kvaliteten af udførelsen, fx forarbejde, tilvirkning og placering af armering etc., har naturligvis også betydning for bygningernes sikkerhed, men jævnfør ovenstående generelle betragtninger om grundlaget for undersøgelsen af eksisterende bygningers sikkerhed er der ingen konkret anledning til at drage disse forhold i tvivl.

Det betyder alt i alt, at der ikke er nogen grund til at afvige fra princippet om at sikkerheden kan eftervises ud fra det dengang gældende normsæt.

Beslutningsgrundlag

På det ovenfor beskrevne grundlag reduceres det aktuelle problem til vurderinger af betonens styrke, herunder den kvalitetssikring, der blev foretaget i forbindelse med opførelse af byggeriet.

Undersøgelse

Med de kriterier, der er anført ovenfor, er der tale om at inddrage godt 80 bygninger i Danmark i undersøgelsen. Det betyder, at det ville være overkommeligt at henvende sig direkte til ejerne med krav om dokumentation, hvilket anses for have en betydelig større effekt end en bred udsendelse af informationsmateriale.

På baggrund af ovenstående kunne en sagkyndig gennemgå byggeriet efter følgende retningslinier:

- Det tjekkes, at de statiske beregninger forefindes og fra projekt materialet uddrages:
 - En kortfattet beskrivelse af den bærende hovedkonstruktion, statisk system, bygningsbredde, bygningshøjde, dimensioner af konstruktionsdele som vægge, dæk og lignende med angivelse af hvilke dele der er udført i armeret beton og hvorledes samlinger er udført
 - De forudsatte styrker af de benyttede betonkvaliteter med angivelse af, om der er foreskrevet normal eller skærpet kontrol
 - De største betonspændinger i kritiske snit, se (Munch-Andersen og Nielsen, 2007a).
- Der foretages en stikprøvekontrol, der skal vise, at betonstyrken kan anses for at være tilstrækkelig – se vejledningen nedenfor
- Der foretages visuel inspektion af hovedkonstruktionen med henblik på at konstatere tegn på materialenedbrydning eller overbelastning, fx væsentlige revner, afstødninger etc.

Disse retningslinier kan fraviges hvis:

- Der som led i tidligere gennemførte eftersyn, renoveringer eller ombygninger er foretaget en tilsvarende kvalitetssikring af hovedkonstruktionen
- Det lykkes at fremskaffe resultaterne fra de betontrykprøvninger, der under udførelsen blev gennemført som dokumentation for den benyttede betonrecept samt ved kvalitetskontrollen af beton, og hvis disse prøver viser at de i projektet foreskrevne krav er opfyldt. I dette tilfælde kræves ikke nogen ny stikprøvekontrol af betonen

Side 5 af 7

Overvejelser vedrørende stikprøvekontrol

Udgangspunktet er, at der tilstræbes den enklest mulige procedure for en stikprøvekontrol. I den forbindelse lægges vægt på at datidens normregler som tidligere nævnt var baseret på middelværdier af betonstyrken, at mindre end en tredjedel af middeltrykstyrken (Cylinderstyrken) udnyttes, og at der, ud over fundet af beton med for lav styrke i et andet byggeri, ikke er grund til at antage, at betonstyrken ikke skulle være som forudsat i projektet.

Det skal pointeres, at denne procedure ikke tager højde for de betydeligt vanskeligere beslutningssituationer, hvor betonstyrken ønskes opgraderet eller hvor der af andre grunde, fx den her foreskrevne stikprøveanalyse, måtte være grund til at antage at betonens trykstyrke ikke er tilfredsstillende.

Ikke-destruktiv prøvning, fx ved hjælp af en betonprøvehammer (Schmidt-hammer efter den procedure, der er angivet i (Aalborg Portland, 1985), anses ikke for at være tilstrækkelig nøjagtig til at et sikkerhedstjek kan baseres på sådanne målinger alene.

Derfor foreslås i stedet prøvning af mindst tre udborede cylindre eller tilsvarende prøvning ved CAPO-Test.

Hvis gennemsnittet af resultaterne fra de tre prøver mindst svarer til de styrker, der var fundet nødvendige ved projekteringen, accepteres betonstyrken. Det betyder, at såfremt den tilladelige spænding i den i projektet foreskrevne beton ikke udnyttes, accepteres et tilsvarende lavere prøvningsresultat, se den øvre grænse af felterne "Faktor på styrke" i figuren.

Ved denne sammenligning er det vigtigt at være opmærksom på, at prøvningsresultaterne skal omregnes til styrker af standardcylindre, $f_{c,m\grave{a}lt}$, og at betonkvaliteterne i projekter fra 1950'erne normalt blev angivet ved terningstyrken, σ_T (kantlængde 200 mm).

For udborede cylindre benyttes ofte korrektionsfaktorer fra Beton Bogen (Aalborg Portland, 1985) eller Beton -Teknik (Fra CTO's arbejdsmark, 1985). Følgende udtryk kan benyttes:

$$f_{c,m\grave{a}lt} = c_1 c_2 c_3 f_{c,udboret}$$

c_1 er udtryk for, at den målte styrke af den udborede prøve omsættes til styrken ved standardcylinderens højde/diameterforhold, $h/d = 2$. Både (Aalborg Portland, 1985) og (Fra CTO's arbejdsmark, 1985) angiver udtrykket $c_1 = 0,2 h/d + 0,6$.

c_2 er udtryk for, at den målte styrke af en udboret prøve omsættes til styrken for en cylinder med størrelse som standardcylinderen, 150 x 300 mm. Både (Aalborg Portland, 1985) og (Fra CTO's arbejdsmark, 1985) angiver værdier mellem 0,9 og 1,0 for diametre mellem 70 mm og 150 mm.

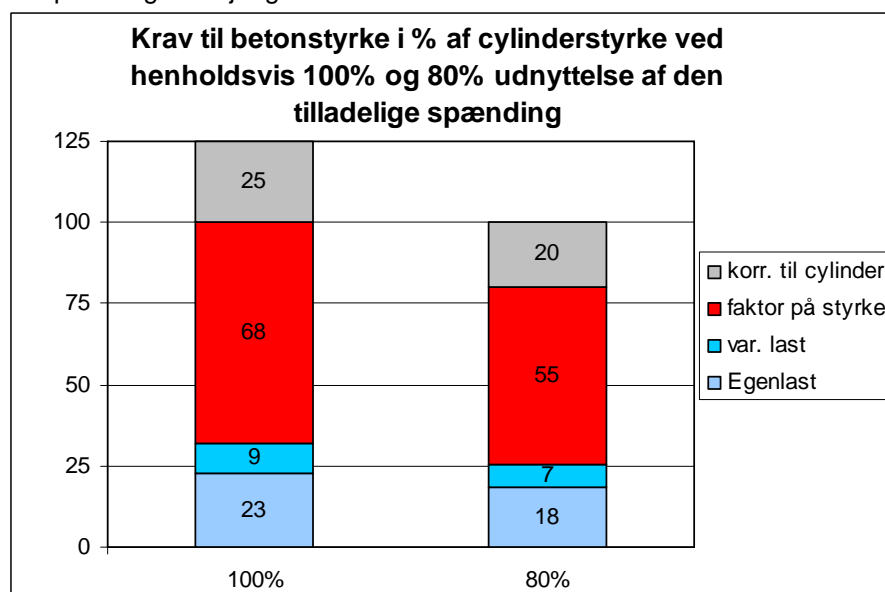
c_3 er udtryk for, at den målte styrke af en udboret prøve omsættes til styrken for en støbt cylinder. I (Aalborg Portland, 1985) angives $c_3 = 1,25$, mens der i (Fra CTO's arbejdsmark, 1985) er anført værdier fra 1,4 (for $d = 70$ mm) til 1,10 (for $d = 150$ mm)

Der korrigeres ikke for betonens alder. Almindeligvis anvendes en betonstyrke bestemt 28 dage efter støbning som grundlag for dimensionering af betonkonstruktioner. Styrken vil normalt øges lidt derefter som følge af øget modenhed, således at styrken ved opførelsen har været lidt lavere end de her fundne værdier. Det betyder at bygningen tidligere har stået med en lidt lavere sikkerhed end i dag, men det anses ikke for relevant i denne sammenhæng.

Gennemsnittet af de således korrigerede værdier skal sammenlignes med den nødvendige styrke, der hvis styrken udnyttes fuldt ud, fremkommer ved at multiplicere den foreskrevne terningstyrke σ_T med 0,8, se figuren og (Munch-Andersen & Nielsen, 2007a).

Med de spredninger, der kan forventes ved prøvningerne, bør det ikke vække bekymring, hvis prøvernes middelværdi ligger lidt lavere end den ovenfor omtalte nødvendige styrke. Med henvisning til figuren er der blot tale om at størrelsen af feltet "Faktor på styrke" reduceres lidt.

Ved større afvigelser i nedadgående retning, bør der iværksættes nøjere vurderinger, hvilket eksempelvis kan indebære en udvidelse af antallet af prøvninger, nærmere vurderinger af om der er andre svagheder (såsom manglende armering) eller vurderinger af hovedkonstruktionens muligheder for spændingsomlejring.



Afslutningsvis gøres opmærksom på, at en dokumentation, der fuldt ud baseres på de nugældende regler såvel på lastsiden som på styrkesiden (herunder repræsentativ prøvning af betonen), er tilladt og måske i nogle vil være nødvendig eller gunstigere end det, man når frem til med de forenklede procedurer, der er beskrevet ovenfor. Som det fremgår af (Munch-Andersen og Nielsen, 2007a), kræver det dog for hver konstruktionsdel en række nærmere overvejelser at transformere sikkerhedsbetragtninger fra et norm-system til et andet, især hvis man ønsker at øge belastningen på bygningen. I øvrigt henvises til (Diamantidis, 2001).

Litteratur

Aalborg Portland (1985): *Beton-Bogen*, Cementfabrikkernes tekniske oplysningskontor, Herholdt, A.D. (red.), 2. udg. 1985

Diamantidis, D. (Ed.): *Probabilistic Assessment of Existing Structures*. Rilem Publications, 2001

Side 7 af 7

Feilberg Hansen, K. og K. Egholm (2005): *Korroderede trådbindere i murværk*. Anvisning 211. Statens Byggeforskningsinstitut 2005

Fra CTO's arbejdsmark (1985): *Borekernestyrke – normstyrke*. Beton Teknik 10/22/1985

Munch-Andersen, J. og M. Buhelt (2000): *Stormskader på Bygninger – Undersøgelser af skader ved stormen 3. december 1999*. By og Byg Resultater, Statens Byggeforskningsinstitut, 2000

Munch-Andersen, J. og J. Nielsen (2007a): *Sammenligning af normer for betonkonstruktioner 1949 og 2006*, SBI, 2007-01-17

Munch-Andersen, J. og J. Nielsen (2007b): *Om sikkerheden af højhuse i Rødovre*, SBI, 2007-01 21

Nielsen, J. (2005): *Sikkerheden i eksisterende byggeri – Indsamling og formidling af viden (forprojekt)*. SBI 2005:16. Statens Byggeforskningsinstitut 2005